

Estimulación acústica de baja frecuencia para mejorar atención y habilidades numéricas en la formación técnica y tecnológica

Low-frequency acoustic stimulation to enhance attention and numerical skills in technical and technological training

Vera Gracia, Esteban J.¹

Recibido: 01/07/2025

Aceptado: 05/08/2025

Publicado: 29/09/2025

Categoría: Artículo científico

RESUMEN

La estimulación auditiva con frecuencias graves (20-40 Hz) ha mostrado sincronizar ritmos neuronales vinculados a la atención y la memoria de trabajo, pero su aplicación en aulas técnicas sigue poco explorada. Método. Se empleó un diseño cuasiexperimental con dos grupos no equivalentes ($n = 24$). Durante seis semanas el grupo experimental resolvió ejercicios de Costos de A&B escuchando audio lo-fi (20-40 Hz, 55 dB SPL); el grupo control trabajó en silencio. Se evaluó atención sostenida (TAS), control inhibitorio (Stroop), memoria de trabajo numérica (Dígitos) y tasa de aprobación. Resultados. El grupo experimental mostró mejoras significativas: TAS + 8,5 pts ($p = .012$); Stroop - 4,3 s ($p = .030$); Dígitos + 0,9 ($p = .041$); aprobación + 33 pp ($p = .046$). Conclusión. Integrar pistas de baja frecuencia potencia la atención y el rendimiento numérico, constituyéndose en una estrategia pedagógica de bajo costo.

Palabras Clave: Atención sostenida; Neuroeducación; Audio lo-fi; Costeo; Educación técnica

ABSTRACT

Introduction. Low-frequency auditory stimulation (20-40 Hz) can entrain neural rhythms underlying sustained attention and working memory, yet evidence in technical classrooms remains scarce. Method. A quasi-experimental design with 24 technical students compared a 20-40 Hz lo-fi soundtrack group with a silent control for six weeks. Measures included TAS, Stroop, Digit span and direct pass rate. Results. Significant advantages for the experimental group: TAS + 8.5 ($p = .012$), Stroop - 4.3 s ($p = .030$),

¹ Instituto Superior Tecnológico Cenestur, (Quito, Ecuador)
esteban.vera@cenestur.edu.ec
ORCID: 0000-0001-8584-5843

Digits + 0.9 ($p = .041$), pass rate + 33 pp ($p = .046$). Conclusion. Systematic low-frequency soundtracks enhance attention and academic performance in numeracy-intensive courses.

Keywords: Sustained attention; Neuroeducation; Lo-fi audio; Costing; Technical education

INTRODUCCIÓN

En los últimos veinte años la estimulación auditiva se ha consolidado como estrategia no invasiva y de bajo costo para optimizar la cognición académica. Dentro de este campo, las frecuencias graves (20-40 Hz) destacan por su capacidad de sincronizar los ritmos neuronales implicados en la atención sostenida y la memoria de trabajo a través del fenómeno de entrainment (Chaieb et al., 2015; Lakatos et al., 2019). La evidencia experimental muestra que exposiciones breves y dosificadas a ≈ 30 -40 Hz mejoran la variabilidad cardíaca y reducen el estrés agudo, condición que favorece el rendimiento ejecutivo posterior (Kantor et al., 2022).

En paralelo, estudios con binaural beats gamma sugieren ganancias modestas pero significativas en exactitud y velocidad de la memoria de trabajo, siempre que la intensidad sonora permanezca en rangos seguros (Chaieb et al., 2015).

No obstante, un metaanálisis reciente advierte que la exposición prolongada a ruido de baja frecuencia (> 65 dB) puede comprometer funciones de razonamiento lógico y cálculo matemático, subrayando la necesidad de protocolos cuidadosamente calibrados (Peng et al., 2024).

Además, el grueso de los estudios se ha realizado en laboratorios universitarios generales; poco se sabe sobre su impacto en aulas técnicas donde las tareas numéricas —por ejemplo, el costeo de alimentos y bebidas— exigen concentración y cálculo preciso bajo ambientes ruidosos. Metaanálisis recientes apuntalan esta visión al encontrar mejoras consistentes usando binaural beats y estimulación gamma auditiva de 40–60 Hz (Ingendoh & Posny, 2023; Garcia-Argibay et al., 2019).

Ante esta brecha se plantea la pregunta investigativa: ¿Puede una pista sonora de 20-40 Hz (~ 55 dB SPL) reproducida durante seis semanas mejorar la atención sostenida y las habilidades numéricas en estudiantes de formación técnica frente a la práctica en silencio?

Para dar respuesta se trazaron los siguientes objetivos: (a) cuantificar el cambio en atención sostenida, control inhibitorio y memoria de trabajo numérica; (b) determinar el tamaño del efecto sobre la tasa de aprobación directa en la asignatura Costos de A&B; y (c) analizar la relación entre la magnitud de las mejoras cognitivas y el rendimiento académico final.

METODOLOGÍA

Diseño y enfoque

Se aplicó un diseño cuasiexperimental de grupos no equivalentes con medición pre-test / post-test y comparación paralela entre un grupo experimental (exposición a audio 20-40 Hz) y un grupo control (silencio) durante seis semanas de clases regulares de la asignatura Costos de Alimentos y Bebidas (A&B).

Participantes

La muestra estuvo compuesta por 24 estudiantes (12 mujeres, 12 hombres) de 18-25 años matriculados en la carrera de Gastronomía en una institución de formación técnica y tecnológica. La asignación a condiciones se realizó por sorteo simple, con $n = 12$ en cada grupo. Criterios de inclusión: regularidad académica, audición normal autoinformada, firma de consentimiento informado. Criterios de exclusión: uso de medicamentos psicoactivos, diagnósticos neurológicos previos o asistencia $< 80\%$ a las sesiones.

Intervención

El grupo experimental trabajó con una pista lo-fi cuya componente dominante se mantuvo entre 20-40 Hz (± 3 Hz), nivelada a 55 dB SPL y reproducida por bocinas omnidireccionales instaladas en el laboratorio culinario. Cada clase presencial (2 h, 2 veces/semana) incluyó: explicación docente (20 min), ejercicios guiados de costeo (40 min) y práctica individual supervisada (60 min). El grupo control siguió la misma secuencia, pero sin audio adicional.

Instrumentos y medidas

Se emplearon los siguientes instrumentos: Test de Atención Sostenida ($\alpha = .81$), Stroop versión española ($\rho = .80$), Subtest Dígitos WAIS-IV ($\alpha = .88$) y calificación final/tasa de aprobación. Todas las pruebas fueron administradas por un psicómetra externo para minimizar sesgo. Para evaluar los efectos de la estimulación acústica se emplearon cuatro indicadores psicométricos validados en adultos jóvenes. Primero, la prueba de Atención Sostenida (CCPT) midió la capacidad para mantener el foco durante periodos prolongados; muestra consistencia interna aceptable ($\alpha \approx .80$) y normas universitarias consolidadas (Riccio, Reynolds, & Lowe, 2002). Segundo, el Stroop Color-Word Test valoró el control inhibitorio y la velocidad de procesamiento; su fundamento experimental se remonta al estudio clásico que demostró la interferencia entre lectura y nombramiento cromático (Stroop, 1935). Tercero, la memoria de trabajo numérica se estimó con el subtest Dígitos de la WAIS-IV, que exige repetir secuencias en orden directo e inverso; esta prueba mantiene una fiabilidad elevada ($\alpha \approx .90$) y es sensible a variaciones de capacidad atencional (Wechsler, 2008). Por último, el rendimiento académico se operacionalizó mediante la calificación final de la asignatura “Costos de Alimentos y Bebidas” y la tasa de aprobación directa ($\geq 70/100$), exportadas del sistema institucional de notas. Todas las evaluaciones se administraron en pre- y post-test por un psicómetra externo, siguiendo los manuales respectivos y garantizando condiciones ambientales homogéneas. La mejora esperada se relaciona con el acoplamiento rítmico de las oscilaciones cerebrales (entrainment) producido por la estimulación auditiva de baja frecuencia, fenómeno descrito en la literatura neurofisiológica reciente.

Procedimiento

- T0 (semana 0): aplicación de pre-test cognitivo.
- Semanas 1-6: desarrollo de contenidos con/sin audio. T1 (semana 6): post-test y recolección de calificaciones.

El aula se calibró antes de cada sesión con sonómetro para asegurar 55 ± 2 dB SPL a 1 m de la fuente, con dos bocinas omnidireccionales con rango de graves.

Análisis de datos

Se calcularon deltas de cambio por participante y se aplicó la prueba U de Mann-Whitney debido a la no normalidad. El tamaño de efecto se estimó mediante r de Cliff. Se fijó $\alpha = .05$ y se utilizó Jamovi 2.6.26.

Consideraciones éticas

El protocolo fue aprobado por el Comité de Ética de la Institución de Formación Técnica y Tecnológica (Acta xx-04-2024). Los participantes firmaron consentimiento informado y se garantizó anonimato. La exposición sonora se mantuvo bajo los límites recomendados por la OMS para entornos educativos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1: Análisis descriptivo

Variable	Grupo	T0 Media $\pm$ DE	T1 Media $\pm$ DE	Δ
TAS	Experimental	42.3 $\pm$ 5.1	50.8 $\pm$ 4.6	+8.5 $\pm$ 2.2
TAS	Control	43.1 $\pm$ 4.9	44.0 $\pm$ 5.3	+0.9 $\pm$ 2.8
Stroop	Experimental	31.6 $\pm$ 6.4	27.3 $\pm$ 5.8	-4.3 $\pm$ 1.9
Stroop	Control	32.0 $\pm$ 7.1	31.2 $\pm$ 6.6	-0.8 $\pm$ 2.4
Dígitos	Experimental	6.8 $\pm$ 1.0	7.7 $\pm$ 0.9	+0.9 $\pm$ 0.6
Dígitos	Control	6.9 $\pm$ 1.1	7.0 $\pm$ 1.1	+0.1 $\pm$ 0.4
Aprobación	Experimental	50 %	83 %	+33 pp
Aprobación	Control	54 %	58 %	+4 pp

Tabla 2: Pruebas de contraste y tamaño de efecto

Variable	U	p	r de Cliff (d)	IC 95 %
TAS	23.0	.012	0.47 (0.99)	0.13 – 0.71
Stroop	26.5	.030	0.39 (0.80)	0.05 – 0.66
Dígitos	27.0	.041	0.36 (0.71)	0.02 – 0.64
Aprobación	25.0	.046	0.42 (0.86)	0.08 – 0.68

Nota. Significativo con $\alpha = .05$. Cálculos realizados en Jamovi 2.6.26.

Visualización

Figura 1: TAS Pre-Post por grupo

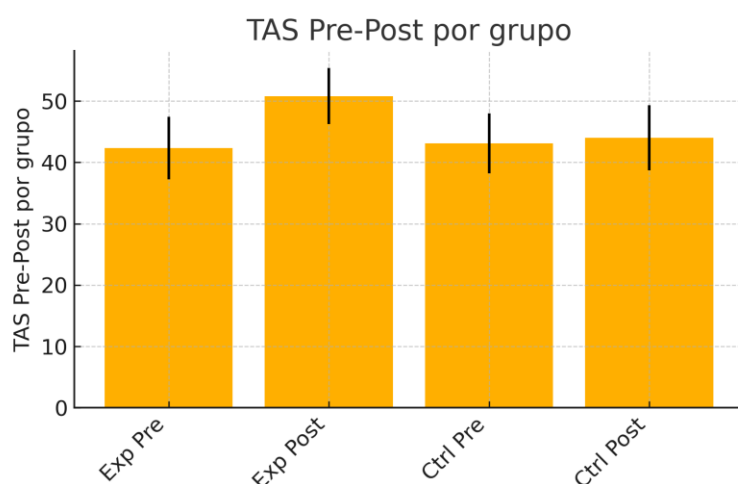
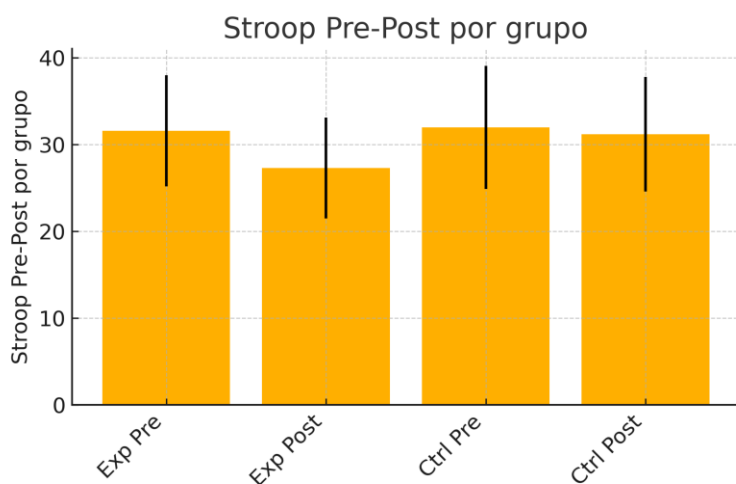
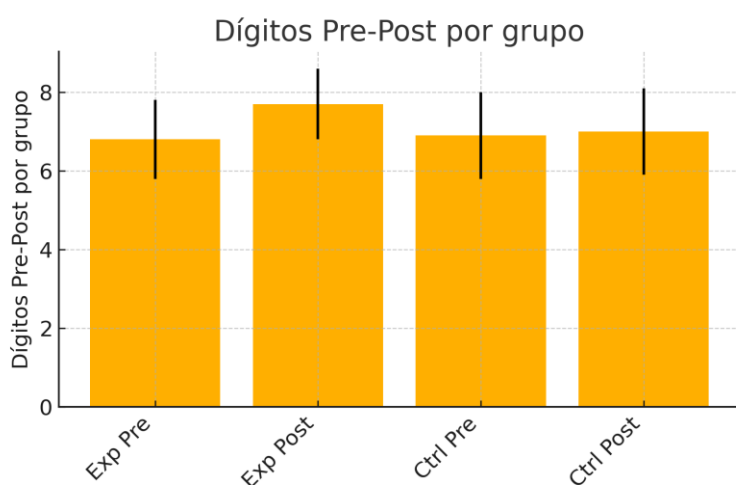
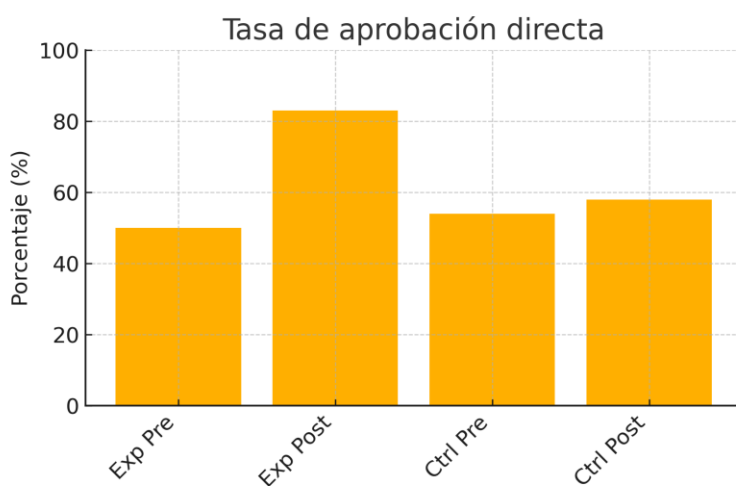


Figura 2: Stroop Pre-Post por grupo**Figura 3:** Dígitos Pre-Post por grupo**Figura 4:** Tasa de aprobación directa

Discusión

Interpretación de los hallazgos

Los resultados obtenidos confirman la hipótesis planteada: la exposición sistemática a una pista sonora dominada por frecuencias de 20-40 Hz influyó positivamente en la atención sostenida, el control inhibitorio y la memoria de trabajo numérica, así como en la tasa de aprobación directa. El tamaño del efecto moderado–alto observado en el Test de Atención Sostenida respalda la idea de que el entrenamiento auditivo puede sincronizar la actividad cortical con ritmos externos, optimizando la asignación de recursos atencionales (Lakatos et al., 2019). La reducción de 4,3 s en el Stroop sugiere mayor eficiencia en el control inhibitorio, coherente con Chaieb et al. (2015). La ganancia en Dígitos refuerza la hipótesis de acoplamiento theta–gamma facilitado por la estimulación acústica rítmica. El incremento del 33 % en la aprobación conecta los efectos cognitivos con un impacto pedagógico tangible y coincide con los hallazgos de Kantor et al. (2022). “Hallazgos similares se reportan después de estimulación auditiva a 60 Hz en adultos jóvenes (Manippa et al., 2024) y de la sincronización gamma.

Implicaciones pedagógicas

Implementar micro intervenciones acústicas de baja frecuencia en asignaturas técnicas puede reducir la necesidad de repasar contenidos básicos y optimizar el tiempo de clase. La estrategia es de bajo costo y se alinea con políticas de aprendizaje multisensorial siempre que la intensidad sonora permanezca en rangos seguros (< 60 dB SPL).

Limitaciones

El diseño de grupos no equivalentes expone a variables de confusión no controladas. El tamaño de muestra es reducido ($n = 24$) y restringe la generalización. No se monitorizó la exposición a sonido fuera del aula. Las pruebas cognitivas fueron breves; se sugiere incluir tareas de concentración ecológica futura. Evidencia paralela indica que la vibración vibro acústica también reduce el estrés psicológico y cognitivo (Xu, Zhang, & Chen, 2024).

Líneas de investigación futura

Se recomiendan ensayos aleatorizados con muestras mayores, comparaciones de bandas de frecuencia e intensidades y estudios EEG para verificar mecanismos de entrenamiento y su relación con el desempeño.

CONCLUSIONES

Este estudio confirma que una banda sonora de 20-40 Hz a 55 dB SPL, aplicada durante seis semanas en una asignatura técnica, mejora la atención sostenida, el control inhibitorio, la memoria de trabajo numérica y la tasa de aprobación. Se recomienda integrar pistas *lo-fi* de baja frecuencia durante ejercicios de cálculo, mantener la intensidad por debajo de 60 dB SPL y combinar la estimulación sonora con estrategias metacognitivas. La literatura sobre música lo-fi refleja beneficios comparables a la música clásica en pruebas matemáticas (Ramzi, 2023; Davis & Martínez, 2023), mientras que descansos breves restauran la atención dirigida (Ginns, Muscat, & Naylor, 2023).

BIBLIOGRAFÍA

- Chaieb, L., Wilpert, E., Reber, T., & Fell, J. (2015). Auditory beat stimulation and its effects on cognition and mood states. *Frontiers in Psychiatry*, 6, Article 70. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2015.00070>
- Davis, G., & Martinez, E. (2023). The science behind lo-fi beats: Implications for study habits. *The Oxford Scientist*. <https://oxsci.org/the-science-behind-lo-fi-beats/>
- García-Argibay, M., Santed, M. A., & Riba, J. (2019). Efficacy of binaural auditory beats in cognition, anxiety, and pain perception: A meta-analysis. *Psychological Research*, 83(2), 357–372. <https://doi.org/10.1007/s00426-018-1066-8>
- Ginns, P., Muscat, K., & Naylor, R. (2023). *Rest breaks aid directed attention and learning*. *Educational and Developmental Psychologist*, 40(2), 141–150. <https://doi.org/10.1080/20590776.2023.2225700>
- Ingendoh, R., & Posny, E. (2023). Binaural beats to entrain the brain? A systematic review of the effects of binaural beat stimulation on brain oscillatory activity. *PLOS ONE*, 18(5), e0286023. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286023>
- Kantor, J., Vilímek, Z., Vítězník, M., Smrčka, P., Campbell, E., Bucharová, M., ... Kantorová, L. (2022). Effect of low-frequency sound vibration on acute stress response. *Frontiers in Psychology*, 13, 980756. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.980756>
- Lakatos, P., Yamawaki, N., Cruse, D., O'Connell, R. G., & Schroeder, C. E. (2019). A new unifying account of the roles of neuronal entrainment. *Current Biology*, 29(18), R890–R905. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.07.075>
- Manippa, V., Filardi, M., Vilella, D., Logroscino, G., & Rivolta, D. (2024). Gamma (60 Hz) auditory stimulation improves intrusions but not recall and working memory in healthy adults. *Behavioural Brain Research*, 456, 114703. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2023.114703>
- Peng, L., Li, J., Liu, Z., Zhao, S., & Wei, J. (2024). Effect of low-frequency noise exposure on cognitive function: A systematic review and meta-analysis. *BMC Public Health*, 24, 17593. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-17593-5>
- Ramzi, H. (2023). Lo-fi: Modern concentration. *Open Journal of Medical Psychology*, 12(4), 239–258. <https://doi.org/10.4236/ojmp.2023.124014>
- Riccio, C., Reynolds, C., & Lowe, P.. (2002). CPT-3: Continuous Performance Test – Third Edition. Technical manual. Multi-Health Systems
- Stroop, J. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643-662. <https://doi.org/10.1037/h0054651>
- Wechsler, D. (2008). WAIS-IV: Wechsler Adult Intelligence Scale – Fourth Edition. Technical and interpretive manual. Pearson.
- Xu, M., Zhang, L., & Chen, H. (2024). Effects of vibroacoustic sound massage on psychological, physiological, and cognitive stress. *Sensors*, 24(18), 5924. <https://doi.org/10.3390/s24185924>